

TAHANAN LOKAL ALIRAN DUA FASE CAIR-GAS MELALUI ORIFICE (THE LOCAL RESISTANCE OF GAS-LIQUID TWO PHASE FLOW THROUGH ORIFICES)

Ir. SUHELI, M.T.

Fakultas Teknik Universitas Tidar Magelang

ABSTRACT

The calculation of local resistance of gas-liquid two-phase flow through an orifice is a problem yet to be solved in engineering design. A new model allowing the calculation was developed. The calculation on which the model is based was verified by test carried out on an air-water two-phase flow test bed and proved to be in good agreement with the experimental results. By comparing the results of the calculation with data from D.K Chen et all ,on the orifices with square edges have same tendency. The authors also found that local resistance on the whole orifices have same tendency. The coefficient of local resistance depends at mass quality x , parameter m and cross section of orifice. Moreover, the accuracy of the calculation can also meet the general requirements of engineering design.

Keywords : *gas-liquid two-phase flow, orifice, local resistance*

PENGANTAR

Orifice merupakan salah satu elemen yang paling umum digunakan dalam pengukuran dan pengaturan kecepatan aliran. Karena strukturnya yang simpel dan penampilannya yang meyakinkan , orifice semakin

meningkat kegunaannya dalam aliran dua fase cair-gas. Sekarang teknologi pengukuran kecepatan aliran dua fase cair-gas dengan orifice meningkat kegunaannya. Aliran dua fase dalam pipa lurus dengan suatu orifice, perhitungan tahanan orifice tidak dapat dielakkan harus diperhitungkan, Sementara itu ketepatan dari perhitungan merupakan faktor penting dalam menentukan keekonomisan dan keandalan suatu perencanaan.. Terdapat beberapa penelitian yang membuat teori dan percobaan dari koefisien tahanan lokal orifice dan beberapa korelasi kegunaan yang telah diperoleh.

D.K.Chen,Z.H. Chen, Z.S. Zhao dan N.Zhuo (1985) telah menghitung koefisien tahanan lokal pada aliran dua fase melewati orifice penampang persegi saluran horisontal. Hasil penelitiannya dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Simpson (1983) cukup memadai. Kofaezen (1976) meneliti hubungan antara koefisien tahanan lokal dengan kualitas massa. Janssen (1966) meneliti hubungan antara kualitas massa dengan pengali dua fase . Kofaezen dan Janssen meneliti dalam campuran uap air dan air . Simpson (1983) meneliti hubungan antara kualitas massa dengan pengali dua fase untuk diameter orifice lebih besar daripada Janssen .

Penelitian ini berbeda dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Chen dkk. ,karena menggunakan tiga macam orifice dengan tiap-tiap orifice mempunyai tiga macam variasi diameter.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien tahanan lokal diturunkan dari persamaan energi aliran dua fase untuk aliran terpisah (Gad Hetsroni , 1982).

$$\frac{1}{W} \left(\frac{dq_c}{dz} - \frac{dw}{dz} \right) = \frac{d}{dz} [xh_g + (1-x)h_l] + \frac{d}{dz} \left[x \frac{V_g^2}{2} + (1-x) \frac{V_l^2}{2} \right] + g \cos \theta \quad \dots\dots (1)$$

dan persamaan momentumnya (Graham B. Wallis, 1969)

$$-\frac{dp}{dz} = \frac{4\tau_w}{D} + G \frac{d}{dz} [xV_g + (1-x)V_l] + [\alpha\rho_g + (1-\alpha)\rho_l] \cos \theta \quad \dots\dots\dots (2)$$

Kedua persamaan tersebut diterapkan pada orifice dan akhirnya didapatkan persamaan Koefisien tahanan lokal sebagai berikut

$$\xi_{(1,4)2} = \frac{K(1-m^2)}{\bar{v}^2 \mu^2} + \frac{2Hm(\varepsilon m - 1)}{\varepsilon \bar{v}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

dimana

$$\bar{v} = x \bar{v}_g + (1-x) \bar{v}_l \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$H = \frac{x^2}{\rho_g \alpha} + \frac{(1-x)^2}{\rho_l (1-\alpha)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$K = \frac{v_g^2 x^3}{\alpha^2} + \frac{v_l^2 (1-x)^3}{(1-\alpha)^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\varepsilon = \left[\beta (1 + R^{0,5}) \right]^{-1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R = \frac{p_1 - p_4}{0,5 \rho V_1^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\mu = C_d = V_2 (1 - \beta^2)^{0,5} \left[\frac{\rho}{2(p_u - p_d)} \right]^{0,5} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + s \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{v_l}{v_g} \right)} \dots\dots\dots (3)$$

$$\bar{s} = \left(\frac{v_g}{v_l} \right)^n \dots\dots\dots (3)$$

Sebagai pembanding dipergunakan korelasi CISE (Koestoer, 1994) untuk mencari rasio kecepatan (s) sebagai berikut :

$$S = 1 + E_1 \left(\frac{y}{1 + yE_2} - yE_2 \right)^{0,5} \quad \text{dengan} \quad y = \frac{\beta}{1 - \beta}$$

$$\beta = \frac{\rho_l x}{\rho_l x + \rho_g (1 - x)}$$

$$E_1 = 1,578 \operatorname{Re}^{-0,19} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0,22}$$

$$E_2 = 0,0273 We \operatorname{Re}^{-0,51} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{-0,08}$$

$$\operatorname{Re} = \frac{G d}{\mu_l}$$

$$We = \frac{G^2 d}{\sigma \rho_l}$$

Fraksi hampa yang didapatkan dengan korelasi CISE ini kemudian dipergunakan untuk menghitung Koefisien tahanan lokal dengan rumus 3.

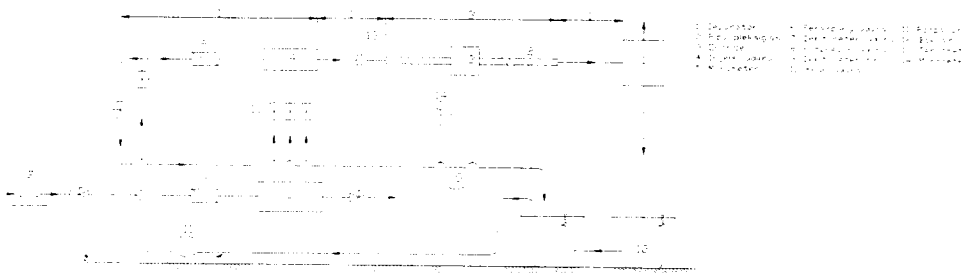
Kemudian kedua harga Koefisien tahanan lokal ini dibandingkan dicari rerata prosentase kesalahannya yang terkecil untuk menentukan harga n .

2. Cara Penelitian

Sebelum dilaksanakan penelitian, sebaiknya dilakukan dulu percobaan awal terhadap unjuk kerja peralatan yang akan digunakan dalam penelitian nanti.

Instalasi alat yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat dalam gambar 1, sedangkan macam orifice yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2

Dalam percobaan awal ini digunakan aliran air (satu fase cair saja) untuk mengetahui kerugian tekanan (Δp) yang diakibatkan oleh adanya gesekan. Setelah percobaan awal tersebut dilakukan, barulah dilaksanakan penelitian yang sesungguhnya.



Gambar 1. Instalasi percobaan



Gambar 2. Macam-macam orifice

Pertama kali dilakukan pengukuran kerugian tekanan pada orifice. Susunan orifice mengikuti ketentuan dari Bentley, John P (1983) . Sedangkan pengambilan beda tekanan menggunakan cincin Piezometer (Pasek, A.D. 1993) . Pada saat pengukuran tekanan tersebut perlu dicatat juga jumlah aliran air dan udara yang masuk ke orifice yang bisa dibaca pada Flowmeter.

Sementara itu tekanan dalam sistem akan dipertahankan tetap yaitu berkisar antara 1 kg/cm². Sedangkan untuk mendapatkan aliran yang steady saat memasuki orifice, maka jarak injeksi udara sampai orifice minimum 60 D dimana D adalah diameter pipa saluran. Demikian juga jarak separator sampai orifice.

Dalam penelitian ini yang perlu diukur adalah :

1. Kerugian tekanan pada orifice yang dapat dilihat pada manometer.
2. Jumlah udara maupun air yang masuk ke orifice dapat diukur dengan Flowmeter untuk udara maupun air.
3. Suhu udara yang masuk orifice yang dapat diukur dari udara luar.
4. Suhu air yang masuk orifice dapat diukur pada saluran sebelum orifice.
5. Tekanan sistem dapat dibaca pada pengukur tekanan.

Variabel tetap yang akan diukur dalam penelitian ini adalah :

1. Penurunan tekanan pada orifice (Δp).
2. Perbandingan luas penampang orifice dengan penampang saluran (m)
3. Kualitas (x)
4. Fraksi kehampaan (α)

Kesulitan-kesulitan yang mungkin timbul adalah dalam kaitan pembacaan beda tekanan pada manometer. Karena pembacaan ini hanya dilakukan dengan pengamatan saja maka ketelitiannya tidak dapat seperti yang diharapkan. Hal itu dikarenakan :

- A. Permukaan air raksa di Manometer selalu bergoyang sehingga sulit memastikan pembacaan yang tepat.
- B. Pembacaan di Manometer hanya diambil harga goyangan yang paling tinggi dan yang paling rendah kemudian diambil tengah-tengahnya (rata-ratanya). Kemudian harga rata-rata di kedua permukaan diambil bedanya.

Untuk peneliti yang lain ada baiknya digunakan transduser yang dipasangkan pada sisi sebelum dan sesudah orifice. Dari transduser sinyal yang muncul diteruskan ke indikator sehingga bisa dilihat beda tekanannya.

Variabel bebas yang diubah-ubah adalah :

1. Debit udara
2. Debit air
3. Tekanan Percobaan.

3. Analisis Hasil

Data penelitian akan dianalisis melalui perhitungan matematik serta menggunakan komputasi. Analisis Statistik untuk membandingkan grafik hasil data eksperimen dengan hasil yang pernah diteliti sebelumnya.

Beda tekanan yang didapatkan dari pengukuran dimasukkan ke persamaan Koefisien tahanan lokal (persamaan 3). Sebagai pembanding digunakan perhitungan perbandingan kecepatan (s) dengan menggunakan cara CISE Kemudian harga s ini dipergunakan untuk menghitung fraksi hampa yang selanjutnya dipergunakan untuk menghitung Koefisien tahanan lokal . Dua harga Koefisien tahanan lokal ini kemudian dibandingkan, dicari selisih yang paling kecil untuk kemudian dicari rerata prosentase kesalahannya. Harga indeks n diambil pada harga rerata prosentase kesalahan terkecil . Kemudian harga n ini dipakai untuk menghitung Koefisien tahanan lokal dengan persamaan 3.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang telah dilaksanakan memberikan beberapa data yang dibagi sembilan sesuai dengan macam orifice yang dipakai dalam percobaan ini.

Untuk itu pertama kali ditentukan harga n untuk semua macam orifice. Harga n ditentukan berdasarkan prosentase penyimpangan terkecil antara harga Koefisien tahanan lokal dihitung berdasarkan fraksi hampa dari pengubahan harga n dari 0,1 sampai dengan 1,0 pada rumus fraksi hampa dan yang dihitung dengan cara korelasi CISE . Hasilnya yang berupa tabel kemudian dibuatkan *tabel ringkasan hasil harga n yang dapat dilihat pada tabel 1*

4.1 Harga n

Tabel 1. Harga n dan Rerata prosentase kesalahan untuk bermacam-macam Orifice

No.	Orifice	Rerata prosentase kesalahan	Harga n
1	A1 (Penampang persegi , diameter lubang orifice = 12 mm)	9,49 %	0,4
2	A2 (Penampang persegi , diameter lubang orifice = 16 mm)	3,57 %	0,35
3	A3 (Penampang persegi ; diameter lubang orifice = 20 mm)	1,94 %	0,35
4	B1 (Penampang tajam . diameter lubang orifice = 12 mm)	3,27 %	0,35
5	B2 (Penampang tajam , diameter lubang orifice = 16 mm)	2,04 %	0,35
6	B3 (Penampang tajam , diameter lubang orifice = 20 mm)	1,84 %	0,35

No.	Orifice	Rerata prosentase kesalahan	Harga n
7	C1 (Penampang bulat, diameter lubang orifice = 12 mm)	7,237 %	0,4
8	C2 (Penampang bulat, diameter lubang orifice = 16 mm)	3,17 %	0,35
9	C3 (Penampang bulat, diameter lubang orifice = 20 mm)	1,64 %	0,35

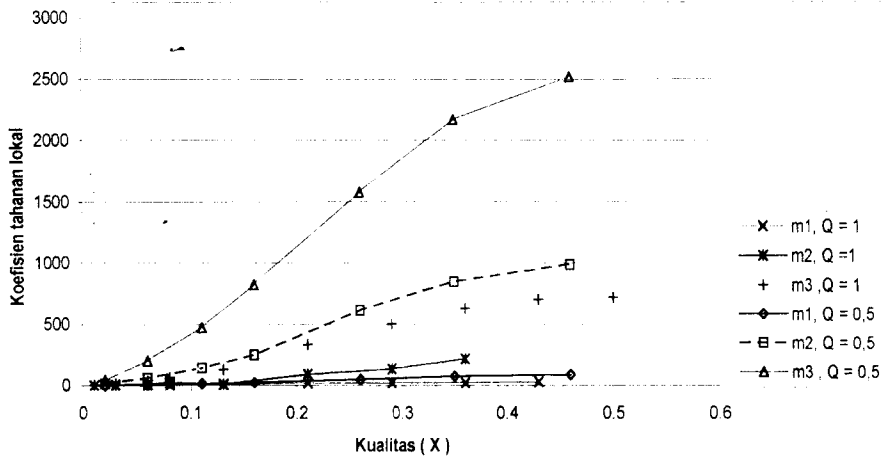
Dari tabel 1 dapat disimpulkan bahwa harga n rerata untuk orifice penampang persegi bisa dikatakan berkisar 0,35 .dengan rerata prosentase kesalahan 5 %. Sedangkan untuk orifice penampang tajam harganya berkisar 0,35 dengan rerata prosentase kesalahan 2,4 % dan untuk orifice penampang bulat harga rerata n = 0,35 dengan rerata prosentase kesalahan 4 % . Sehingga dapat dikatakan harga rerata n untuk semua jenis orifice adalah 0,35. dengan rerata prosentase kesalahan 3,8 % Harga ini cukup baik untuk bisa diterima secara teknis

Hal itu berbeda dengan Chen,D.K. , dkk (1986) yang meneliti satu jenis penampang orifice dengan harga m yang divariasikan. Harga n yang diperoleh adalah 0,55 dengan prosentase kesalahan berkisar antara 5,96 % dan 13,3 % atau rerata 10 % . Dari uraian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa kedua harga n tidak dipengaruhi oleh m (perbandingan luas penampang orifice dengan luas penampang saluran) Bahkan pada penelitian ini menggunakan penampang orifice yang berbeda.

Kemudian harga n ini dipergunakan untuk menghitung Koefisien tahanan lokal. Hubungan antara Kualitas (X) dengan Koefisien tahanan lokal pada berbagai harga debit air dapat dilihat pada gambar 3,4 dan 5. Bila dibandingkan dengan hasil penelitian D.K.Chen, dkk. (1986) yang menggunakan orifice penampang persegi dengan $m = 0,1941$ bisa dilihat pada gambar 6 .

4.2. Hubungan antara Kualitas (X) dengan Koefisien tahanan lokal

Dari gambar 3,4 dan 5 dapat disimpulkan bahwa semakin besar harga debit air maka semakin landai curve hubungan antara Kualitas (X) dengan Koefisien tahanan lokal untuk orifice dengan $m_1 = 0,254$ walaupun penampang orifice nya tidak sama . Demikian juga bila harga m berubah menjadi $m_2 = 0,452$ maupun $m_3 = 0.706$ kecenderungan curvenya sama. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit air kecenderungan perubahan curvenya semakin landai tidak terpengaruh penampang orifice dan harganya **m** .



Gambar 3 Hubungan antara Kualitas (X) dengan Koefisien tahanan lokal pada harga debit air $Q = 0,5$ gpm dan $Q = 1$ gpm untuk orifice penampang persegi dengan $m_1 = 0,254$, $m_2 = 0,452$ dan $m_3 = 0,706$

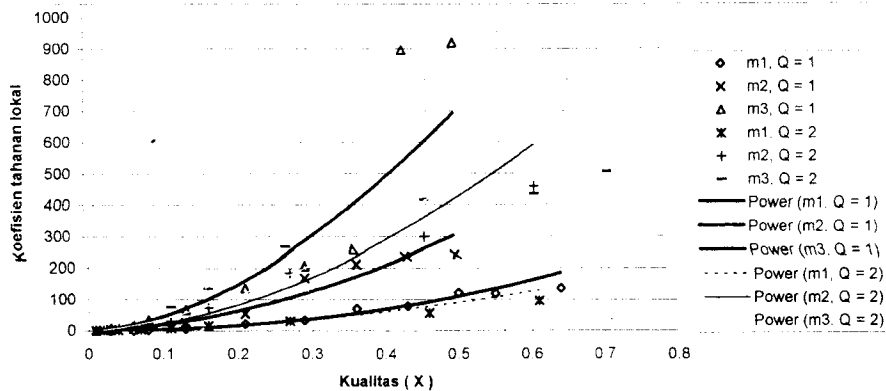
KESIMPULAN

1. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa harga indeks n yaitu pangkat dari perbandingan kecepatan fraksi gas dan kecepatan fraksi cair pada rumus fraksi hampa tidak dipengaruhi oleh harga m dan juga macam penampang orifice .
 m adalah perbandingan luas lubang orifice dengan luas saluran.

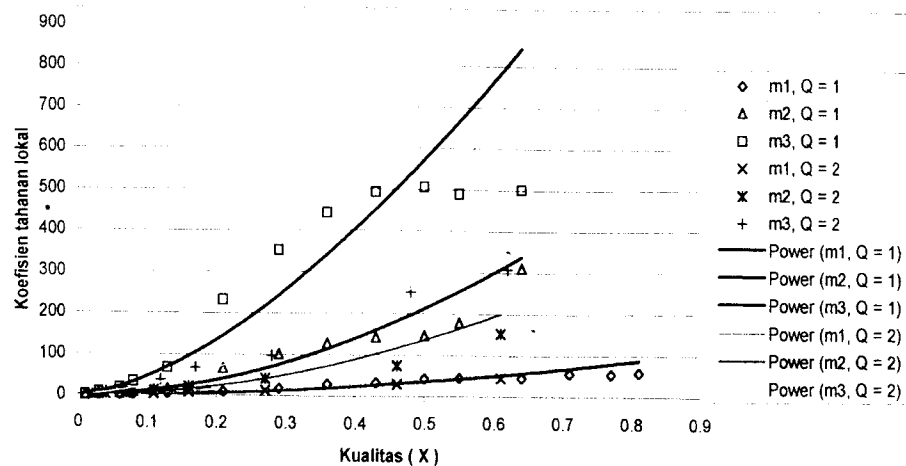
Dalam penelitian ini harga yang diperoleh adalah 0,35 , berbeda dengan Chen D.K. , dkk. (1986) yang memperoleh harga $n = 0,55$ walaupun keduanya sama-sama tidak terpengaruh harga m .

2. Harga Koefisien tahanan lokal mempunyai kecenderungan yang sama yaitu semakin landai dengan bertambahnya harga debit air walaupun harga nya m berubah semakin besar dan penampang irisan orifice berganti.

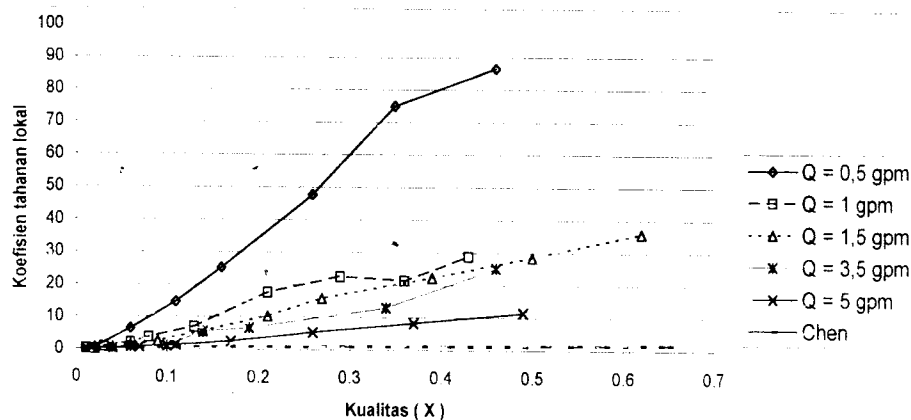
Koefisien tahanan lokal harganya tergantung pada Kualitas (X) , harga m dan macam penampang irisan orifice .



Gambar 4 Hubungan antara Kualitas (X) dengan Koefisien tahanan lokal pada harga debit air $Q = 1$ gpm dan $Q = 2$ gpm untuk orifice penampang irisan tajam dengan $m1 = 0,254$, $m2 = 0,452$ dan $m3 = 0,706$



Gambar 5 Hubungan antara Kualitas (X) dengan Koefisien tahanan lokal pada harga debit air $Q = 1$ gpm dan $Q = 2$ gpm untuk orifice penampang irisan bulat dengan $m_1 = 0,254$, $m_2 = 0,452$ dan $m_3 = 0,706$



Gambar 6 Perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian Chen D.K. dkk. dengan $m = 0,1941$ dalam hubungan antara Kualitas (X) dengan Koefisien tahanan lokal pada berbagai harga debit air untuk orifice penampang irisan persegi dengan $m_1 = 0,254$

Saran

Disarankan bagi peneliti lain untuk mempertajam pembacaan beda tekanan pada manometer, barangkali bisa menggunakan transduser tekanan tipe diaphragma.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada semua teman-teman karyawan Teknik Mesin UGM yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bentley, John P., 1983, "*Principles of Measurement Systems*", Second Edition, Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Chen, D.K. et al, 1986, "*The Local Resistance of Gas-Liquid Two Phase Flow Through an Orifice*", International Journal Heat and Fluid Flow.
- Delhaye, J.M., Giot, M., Riethmuller, M.L., 1981, "*Thermo Hydraulics of Two Phase Systems for Industrial Design and Nuclear Engineering*", Mc. Graw Hill Book Company, New York.
- Gad Hetroni, 1982, "Handbook of Multiphase System", Mc Graw Hill Company, New York.
- Graham B Wallis, 1969 "*One Dimensional Two Phase Flow*", Mc Graw Hill Company, New York.
- Ho, Y.S., dan T.P. Leung. 1985, "*Performance of Conical Entrance Orifice Plates at Low Reynolds Numbers*", International Journal Heat & Fluid Flow, V.6, No.2, 122-125
- Koestoer, Raldi Artono dan Sasanti Proborini, 1994, "*Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*", PT Pradnya Paramita, Jakarta, cetakan I.
- Pasek, A.D., 1993, "*Dasar-dasar dan Teknik Pengukuran Tekanan*", p. 35-38, Laboratorium Termodinamika Pusat Antar Universitas Ilmu Rekayasa Institut Teknologi Bandung.

- Rohloff, T.J. and Catton, I., 1996, "Low Pressure Differential Discharge Characteristics of Saturated Liquids Passing Through Orifices", of Fluids Engineering, 118, 520-525.
- Sudjana, 1992, "Metode Statistika", ed.5, Penerbit Tarsito, Bandung
- Veziroglu, T.N., S.S. Lee and S. Kakac, 1976, "Fundamentals of Two Phase Flow Oscillations and Experiments in Single Channel Systems", Proceedings of Nato Advanced Study Institute, Two Phase Flows and Heat Transfer, Vol. 1, pp. 432-466, Istanbul, August
- Wang, Y.C. and Brennen, C.E., 1998, "One Dimensional Bubbly Cavitating Flows Through a Converging Diverging Nozzle", Journal of Fluids Engineering, 120, 166-170.
- Ward Smith, A.J., 1971, "Pressure Losses in Ducted Flows", First Published London Butterworths.